

## ⑫ 公開特許公報 (A) 平3-150080

⑬ Int. Cl. 5

H 02 N 2/00

識別記号

府内整理番号

C 7052-5H

⑬ 公開 平成3年(1991)6月26日

審査請求 未請求 請求項の数 1 (全5頁)

⑭ 発明の名称 超音波モータ

⑮ 特 願 平1-289761

⑯ 出 願 平1(1989)11月6日

⑰ 発明者 内川 忠保 東京都港区芝5丁目33番1号 日本電気株式会社内

⑱ 発明者 冥加 修 東京都港区芝5丁目33番1号 日本電気株式会社内

⑲ 出願人 日本電気株式会社 東京都港区芝5丁目7番1号

⑳ 代理人 弁理士 内原 晋

## 明細書

発明の名称 超音波モータ

## 特許請求の範囲

継、振り複合圧電振動子をヘッドマスとリアマスではさんだステータと、このステータのヘッドマスに圧接されたロータとを備えた超音波モータにおいて、前記ヘッドマスとして圧電振動子側に比べてロータ接触側の材料が低密度で、しかも少なくともロータ接触側はロータに向かって断面積が小さくなっていることを特徴とする超音波モータ。

## 発明の詳細な説明

## (産業上の利用分野)

本発明は、回転トルクの発生源として、継・振り複合振動子をステータとしステータ上に圧接されたロータを摩擦力を介して回転させる超音波モータに関する。

## (従来の技術)

超音波モータとは、超音波横円振動をする振動体であるステータに圧接されたロータが摩擦力を介して受ける回転トルクを利用したモータである。

円環あるいは円板の円周方向に沿って伝搬するたわみ進行波を利用した超音波モータが特開昭58-148682号公報により開示されて以来、超音波モータは電磁形モータと比べて低速で高トルクであるという特徴を有していることから、盛んに研究開発が行なわれるようになった。しかしながら、この超音波モータはたわみ振動を利用しているため、小径にすると高トルクを得ることが難しいという欠点がある。例えば、直径2cmの進行波型超音波モータのトルクは、たかだか0.1~0.2kgf·cmに過ぎない。

これに対し、特開昭61-52163号公報に開示されている定在波型超音波モータは、ロータとステータの界面に効率よく強力な横円振動の発生を可能とした。しかしながら、これとて圧電継振動を用いて振り振動を励振するものでモード変換を要する

ため構成条件に制約があり、振動子の形状、サイズが限定され、しかも発生する楕円振動の回転の向きは構成条件によって、右廻り、左廻りの何れかとなり、回転の向きを自由に変えられないと言う欠点があった。

回転方向を自由に変えられ、しかも小径で高トルクを有するモータの出現が望まれていたが、このような機能を有する超音波モータとして本発明者らは、特願昭63-149726号明細書、及び昭和63年日本音響学会秋期研究発表会講演論文No.2-4-10、pp.821-822(1988年10月)及び日刊工業新聞社刊行の雑誌「トリガー」1989年1月号の50頁から51頁にかけて開示されている縦・振り複合振動子をステータとする超音波モータを提案した。この超音波モータの構成を第3図に示す。図に於て、31は縦振動を励振させる圧電セラミック素子で、板厚方向に分極処理が成されている。32は振り振動を励振させる圧電セラミック素子で板面に平行で且つ円周方向に分極処理が施されている。33はAl合金からできた金属ブロック(以降これをヘッドマスとよぶ)、34

はリアマス、35は支持板で、これらと圧電素子31、32はボルト36、ナット37およびヘッドマス33により強固に締め付けられ、超音波楕円振動子であるステータ38を構成する。また、39はロータ40をステータ38に圧接される働きをするバネ、41は台座、42はシャフト、43はナットである。ナット43によりバネの圧接力を加減することが出来る。また44は耐摩耗材、45はペアリングである。

この超音波モータは、ステータとロータの界面に縦と振り振動で合成された楕円振動を効率よく強勢に励振させるために、縦と振り振動を同時に共振駆動させることを目的として提案されたものである。共振駆動を行うためには、縦と振りの共振周波数を一致させる必要がある。第3図に示した超音波モータにおいて、ステータ上に適当な太さのシャフトを立て、ロータとステータの圧接力を調整することで弱電界時において辛うじて縦と振りの共振周波数を一致させることができた。

(発明が解決しようとする課題)

しかしシャフトを太くすると、モータ外径を太くしない限り駆動素子である圧電セラミック素子の体積を減少させることになりモータ出力が低下してしまう。

また前述の縦と振りの共振周波数の一一致は、弱電界時の一一致であり、実際にモータを強電界で駆動する際には、振り共振周波数 $f_T$ が縦の共振周波数 $f_L$ より高くなってしまい、実際の駆動状態である強電界時において共振周波数を一致されることは困難であった。第3図に示した構成の超音波モータでは、振りの共振周波数 $f_T$ は、ステータ部分の長さでほぼ決定されてしまい、圧接力にそれほど影響されることはない。しかし、縦の共振周波数 $f_L$ は、ロータの質量、ロータとステータの圧接力に依存し、ロータの質量が軽く、前期圧接力が大きいほど振りの共振周波数に近づく。即ち、第3図に示した構成の超音波モータでは、一般に $f_T > f_L$ である。従って、 $f_T = f_L$ を実現しようとすれば、ロータの高さを低くして軽くすることになり、このような形状のロータでは剛性が小さくなり、大きなトルク

の発生は困難となる。次に、圧接力を極端に大きくすることが必要である。圧接力をきわめて大きな状態にすることは、必然的にペアリングに過大な応力を与える事になり、ペアリングの損傷、はたまたペアリングの寿命の短命化につながり、極めて危険である。従って、従来の第3図に示した超音波モータでは、実際の強電界駆動時において、 $f_T$ が $f_L$ より高くなってしまい、得られる効率はせいぜい25%~40%程度であった。

本発明の目的は、縦・振り複合振動子をステータとする超音波モータに於て、強電界駆動時でも弱電界駆動時でも縦と振りの共振周波数を一致させ、モータの効率を高めることにある。

(課題を解決するための手段)

本発明では、ヘッドマスに使用する材料を使用する材料を少なくとも2種類の密度の異なる材料と断面積の異なる材料を用いて最適化することにより、縦と振りの共振周波数を一致させている。つまりヘッドマスのロータ接触側の材料を圧電振動子側より低密度にし、しかも少なくともロータ接触

側はロータに向かって断面積が小さくなるようになる。

第3図に示す従来の超音波モータおよび本発明の超音波モータの高電界駆動時における振動変位分布を第4図に示す。実線が本発明、破線が従来例である。上の図は模式的なモータ構成図を示している。本発明のモータはヘッドマスに2種類の密度と断面積の異なる材料を用いた例を示してある。真ん中の図はモータの綫方向(モータ軸方向)の振動変位分布、下の図はモータの捩り方向(円周方向)の振動分布を示す。第4図において従来例では綫と捩りの振動変位分布が異なっている。この理由は、綫の位相速度が捩りの位相速度の1.6倍ほど大きいこと、綫の特性機械インピーダンス $Z_{0L}$ および捩りの特性機械インピーダンス $Z_{0T}$ が、中空円筒に関してそれぞれ

$$Z_{0L} = \rho c_L A = (\pi/4) \rho c_L (D_o^2 - D_i^2) \quad (1)$$

$$Z_{0T} = \rho c_T J_p = (\pi/32) \rho c_T (D_o^4 - D_i^4) \quad (2)$$

で与えられ、 $Z_{0L}$ は直径の2乗、 $Z_{0T}$ は直径の4乗の関数となっていることによる。ただし、(1)式、(2)式において

$\rho$ : 密度

$c_L$ : 綫弹性波

$c_T$ : 捣り弹性波の位相速度

$A$ : 中空円筒の断面積

$D_o$ : 外径

$D_i$ : 内径

$J_p$ : 断面極2次モーメント

である。第4図の従来例の綫と捩りの振動モードを詳細に見ると、綫振動モードではヘッドマス33のロータ40に近い側が振幅が大きいが、捩じれ振動モードではヘッドマス33の圧電セラミック素子に近い側が振幅が大きいことがわかる。

第4図の従来の綫・捩り復号振動子をステータとする超音波モータのヘッドマス部分の振動変位分布に関して、ヘッドマスの綫圧電セラミック素子に近い部分は、綫振動に関しては、振動節部に近い位置にあり、スチフネスとして動作している。ま

た、捩り振動に関しては、振動腹部となり慣性質量として動作している。この状態に於て、捩り共振周波数 $f_T$ は綫の共振周波数 $f_L$ より高い。

本発明の原理ではヘッドマス部分において特性機械インピーダンス $Z_{0L}$ 、 $Z_{0T}$ を変えてやることにより、振動モードに変化を与え、綫と捩りの共振周波数を一致させることにある。本発明に基づく超音波モータでは $f_T = f_L$ を実現させるために綫振動に対して、より大きなスチフネスを実現し、捩り振動に関しては、より大きな慣性質量を実現するために、ヘッドマスを少なくとも二つ以上の要素で構成している。即ち、ロータ部分に接触するヘッドマス先端部Al合金、Ti合金といった軽量で剛性の大きな材料で構成し、圧電素子との接合側すなわちヘッドマス底部は密度と弾性率の大きなステンレススチール、超硬合金などでできている。またさらにヘッドマス先端部は先端に沿って断面積が小さくなる形状にし、またヘッドマス底部は前記のヘッドマス先端部より断面積が大きい。このヘッドマスはボルト、ナットにより強固に圧接さ

れ、一体となって振動する。従って、本発明に基づく超音波モータでは、ヘッドマス部分の改良により捩りの共振周波数 $f_T$ を低下させ、綫の共振周波数 $f_L$ を上昇させることができるわけであるから、強電界駆動時あるいは弱電界駆動時において、 $f_T = f_L$ を実現することが可能である。このようにして振動モードにおいても第4図中の実線で示すようにロータ界面で両振動モードの振幅を最大にすることで効率を高めることができる。

(作用)

(実施例)

以下、本発明に基づく超音波モータの実施例を図面に従って説明する。第1図は本発明の実施例に示す超音波モータの断面図である。第1図において、超音波モータの全長は70mmであり、ヘッドマス11はAl合金、ヘッドマス12はそれより高密度材料のステンレススチールであり、これらは溶着、接着、打ち込みなどの手段で接合一体化され、また鈎13のついてステンレス鋼製14に溶着により一

体化されている。ヘッドマス全体の高さは11mmで、このうちヘッドマス12の高さは4mm、外径は24mmであり、またヘッドマス11の高さは7mmで外径は根元で20mm、先端部16mmのテーパー形状である。15は縦振動励振用PZT系圧電セラミック素子で、16は振り振動励振用PZT系圧電セラミック素子、17は支持板でステンレス鋼製、18はリアマスで黄銅製である。ヘッドマス11からリアマス18まではボルト14とナット19により強固に締め付けられ、縦・振り複合振動子であるステータ20を構成する。

21はステンレス鋼製ロータで高さは8mm、22はペアリング、23は台座で同じくステンレス鋼製、24はバネ、25はナットで、バネ24、ナット25はロータ21をステータ20に圧接する力を供給する。ロータとステータ間の圧接力をナットの回転角を調節することにより微妙に変えることが可能である。また、26はエンジニアリング・プラスティックでできた耐摩耗材で、この場合、ロータ21に接着されている。縦圧電素子15と振り圧電素子16に電圧

を印加し、電圧の位相差を適当に調節し、また、強電界励振時において、縦と振りの共振周波数を一致させた場合、ステータとロータの界面において、縦と振りの振幅で合成された強力な梢円振動を引き起こすことができる。ヘッドマス11、12は縦振動に対してはスチフネスをそれほど持たないために、縦振動の共振周波数の変化には寄与しないが、振り振動に関しては、大きな慣性質量として作用するため振り振動の共振周波数を著しく低下させる働きがある。実施例の第1図に示した状態の寸法形状を有する超音波モータにおいて、ロータとステータ間の圧接力を50kgf一定とし、縦及び振り圧電セラミック素子の駆動電圧をともに80V<sub>rms</sub>として、強電界の励振を行ったとき縦の共振周波数31.6kHz、振りの共振周波数31.1kHzであった。そこで、ヘッドマスの突起部50を少し削って突起部の質量を落とすことで、周波数調整を行ったところ、31.5kHzで縦と振りの共振周波数が一致した。次に、駆動電圧をそのままにして、縦と振りの印加電圧の位相差を70度駆動すると、時計回り方向に

回転した。その時の回転数-トルク特性の測定結果を第2図に示す。この超音波モータの諸特性は無負荷時回転数520r.p.m.、最大トルク5.1kgf·cm、最大効率63%である。

その他、本実施例に示した超音波モータは、駆動電圧の位相差を250度とすることにより、反時計方向の反転することが確認され、その特性は、第2図に示したものとほぼ同じであった。

尚、本発明の実施例では密度の大きいヘッドマスを一定の直径の突起部を設けたが、その突起部50をテーパー形状としてもよい。またヘッドマスにAlとステンレススチールの2種類の材料を用いているが、他にAl、ステンレス、ダングステンといった3種類の材料を用いても共振の一一致化が可能であり、モータ高出力の同様の効果が得られる。

#### (発明の効果)

以上詳述した如く、本発明に従った構成の超音波モータは強電界駆動時あるいは弱電界駆動時において、縦と振りの共振周波数を完全に一致させることができ、僅かな消費電力でステータとロータ

の界面に大振幅の梢円振動を発生させることができ、高効率、高トルクの超音波モータを実現することができる。従って、本発明に基づく超音波モータ技術的有用性は計り知れないほど大きく、応用技術、派生技術の広さも予測しきれないものがある。

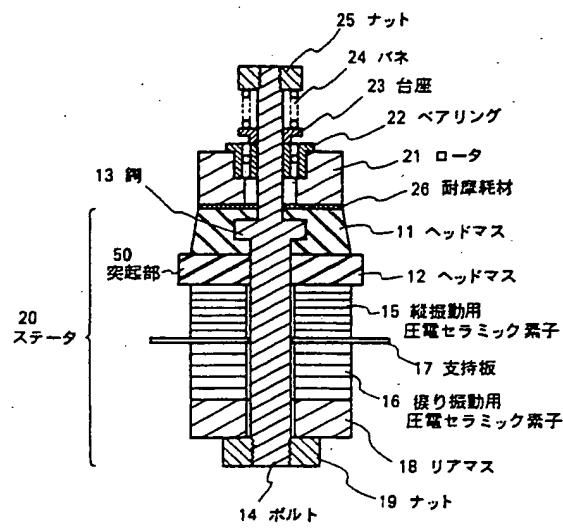
#### 図面の簡単な説明

第1図は本発明の一実施例である超音波モータの断面図、第2図は本発明の超音波モータの回転数-トルク特性図、第3図は従来の超音波モータの断面図、第4図は従来および本発明の超音波モータの振動変位分布を説明するための図である。

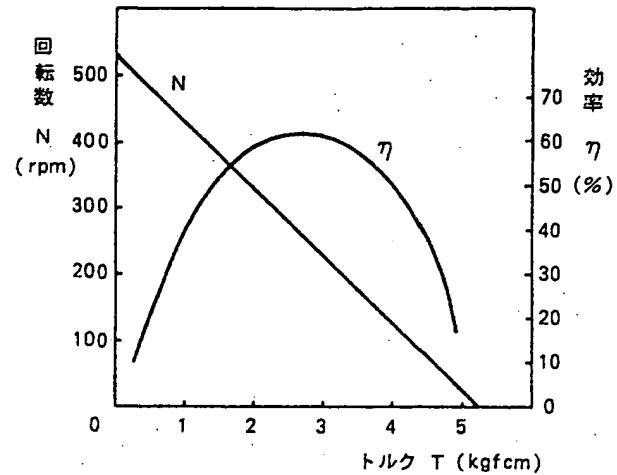
図中各記号はそれぞれ次の内容を示す。

11, 12, 13…ヘッドマス、13…鋸、14, 36…ボルト、15, 31…縦振動用圧電セラミック素子、16, 32…振り振動用圧電セラミック素子、17, 35…支持板、18, 37…リアマス、19, 25, 37, 43…ナット、20, 38…ステータ、21, 40…ロータ、22, 45…ペアリング、23, 41…台座、24, 39…バネ 26, 44…耐摩耗材、50…突起部。

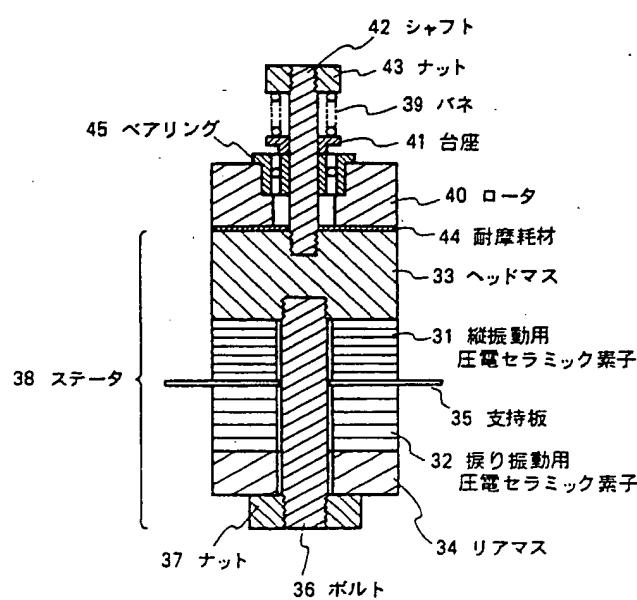
第 1 図



第 2 図



第 3 図



第 4 図

